

Е.И. Кордикова¹, Г.Н. Дьякова¹, Е.Ю. Шалай²
¹Белорусский государственный технологический университет
²ОАО «Пеленг»
Минск, Беларусь

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ КАЛИБРОВОЧНОЙ ШКАЛЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПЕЧАТИ ФИЛАМЕНТОМ

Аннотация. Предложен вариант предварительного определения диапазона температур, толщины и скорости 3D-печати филаментом по температурной калибровочной шкале (тестер «температурная башня»). Простой и наглядный способ позволяет выяснить возможности материалов, которые прежде не использовались в работе.

E.I. Kordikova¹, H.N. Dyakova¹, E.Y. Shalai²
¹Belarusian State Technological University
²OJSC «Peleng»
Minsk, Belarus

USING A TEMPERATURE CALIBRATION SCALE TO DETERMINE THE OPTIMAL PARAMETERS OF FILAMENT PRINTING

Abstract. A variant of preliminary determination of the temperature range, thickness and speed of 3D printing by filament on a temperature calibration scale (tester «temperature tower») is proposed. A simple and visual way allows you to find out the possibilities of materials that have not been used in the work before.

Рынок 3D-печати стремительно развивается и наращивает свои мощности, поэтому спрос на полимерные материалы в виде непрерывных нитей (филаментов) ежегодно возрастает. Большинство расходных материалов поставляются из Европы, США или Китая, однако и в России есть ряд производителей филаментов, их перечень расширяется, на рынке появляются новые компании [1].

Для получения качественных изделий за малое время при минимальных энергетических затратах потребителю необходимо знать оптимальные параметры печати: температуру, скорость и высоту слоя [2]. Перечисленные параметры зависят не только от вида полимера, но и от типа 3D-принтера, на котором предполагается печатать конечных изделий.

Температура печати является критическим параметром, определяющим характеристики конечной детали [2]. Производители рекомендуют для материала достаточно широкий температурный диапазон, а выбор среднего значения из предложенного не всегда позволяет получить качественную печать.

Скорость печати для большинства материалов устанавливается в диапазоне 30–60 мм/с, не отражая реального влияния на качество получаемого продукта [2].

Высота слоя связана с диаметром сопла и должна быть примерно на 20% меньше него, а для достижения наилучшего результата составлять около 50% [3].

Проведение полномасштабных экспериментов для изучения влияния одновременно трех параметров печати на качество изделия занимает много времени и приводит к большим затратам материала.

Наиболее простым подходом в поиске оптимальных параметров является опытная печать тестовой модели, «температурная башня» при различных параметрах температуры, скорости и высоты слоя. Визуальная оценка тестовых моделей по нескольким факторам конструкции: мосты, отвесы, паутина, (рис. 1) позволяет определить участки с наилучшим результатом для использования в последующем таких же настроек при 3D-печати изделий.



Рис. 1- Описание факторов одного блока калибровочной башни
(Источник: [gaaZolee](#) через [Thingiverse](#))

В качестве исследуемого материала применяли PETG (полиэтилентерефталат гликоль) от компании «Некрасовский полимер» (РФ), диаметр нити – 1,75 мм. Филамент перед печатью подвергали сушке при температуре 60°C в течение 3 часов. Печать образцов осуществляли на 3D-принтере с закрытой камерой Anycubic 4Max Pro.

Температуру сопла варьировали от 220°C до 260°C с интервалом 5°C, учитывая весь рекомендуемый диапазон для материала от различных производителей. Скорость печати принимали 10, 30, 40 и 50 мм/с. При диаметре сопла 0,4 мм высоту слоя устанавливали 0,1; 0,2; 0,3 мм. Температура подогрева стола – 70°C.

Настройка параметров печати для каждого элемента устанавливалась в слайсере Cura. 3D-модель импортировали в слайсер и проводили настройки температуры при неизменных параметрах скорости и толщины слоя для каждого сегмента «башни» (рис. 2).

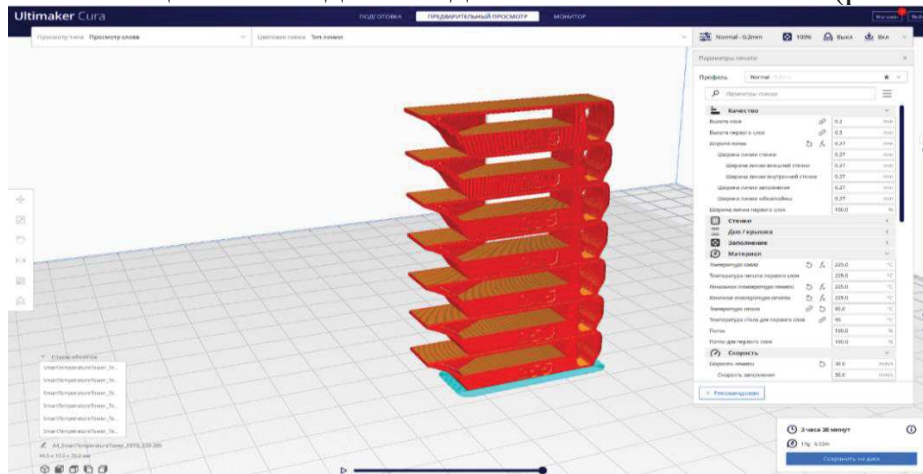


Рис. 2 - Настройки параметров «температурной башни» в Cura

Начальную температуру нижнего сегмента выставляли 260°C, каждый последующий сегмент печатался при определенной температуре, по снижающейся. Для этого модифицировали машинный код (Gcode), сгенерированный слайсером.

Проходим путь: «Расширения» (Extensions) → «Постобработка» (Post Processing) → «Модифицировать G-код» (Modify G-Code) – прописать температуры хотэнда для конкретных сегментов модели. Выбрать «Добавить скрипт» (Add a script), а затем «Изменить при Z» (Change at Z), что откроет настройки, позволяющие вносить изменения в поведение 3D-принтера в зависимости от указанной высоты или номера слоя.

Изменяем настройку «Применить» (Apply to) на «Выбранный слой + следующий» (Target Layer + Subsequent) – температура будет меняться на указанных слоях и поддерживаться до окончания 3D-печати.

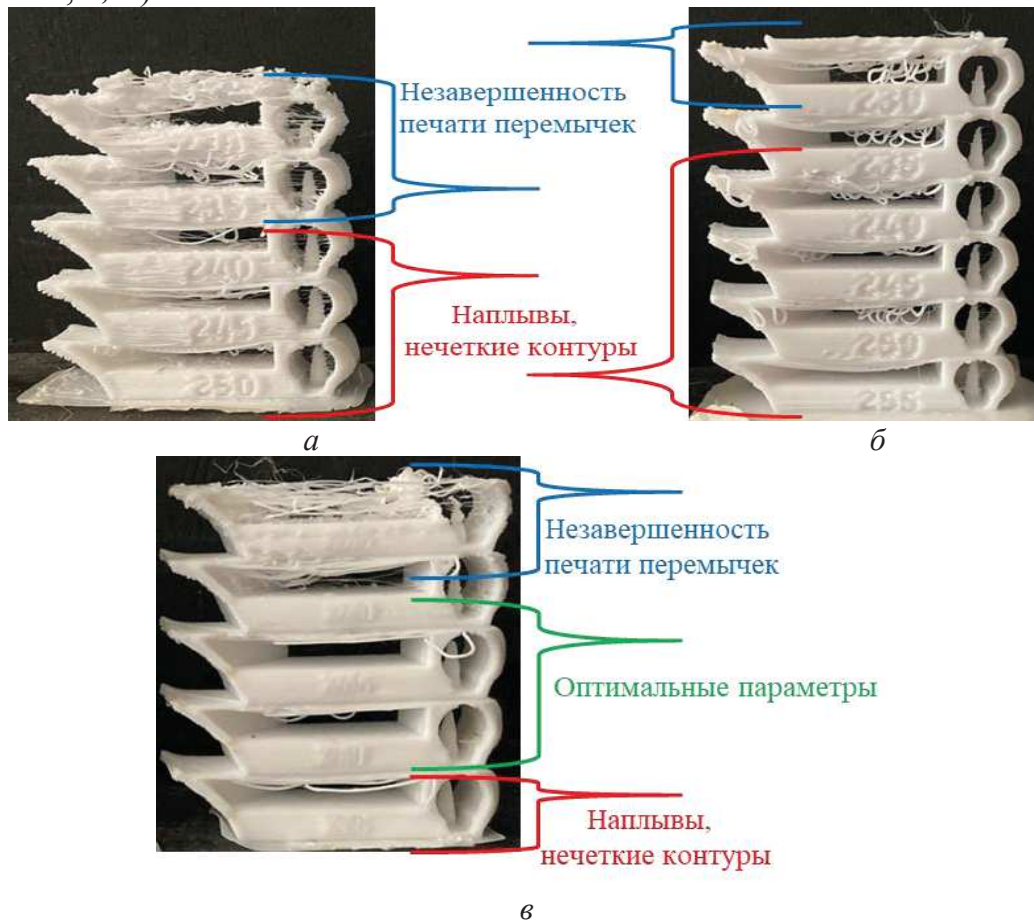
Далее включить «Изменить температуру экструдера №1» (Change Extruder 1 Temp) и прописать температуру первого сегмента, а затем повторить операцию для остальных секций, выставляя соответствующие температурные значения.

Время печати в зависимости от параметров составили от 1 ч 45 мин при скорости 50 мм/с и толщине слоя 0,3 мм до 18 ч 34 мин при скорости 10 мм/с и толщине слоя 0,1 мм.

Печать при температуре 260°C привела к пережогу материала, при этом повышение скорости до 50 мм/с не дает возможности

получить качественную печать. При деструкции материал уплотняется и забивает сопло 3D-принтера.

Высокая температура экструдера (255 и 250°C) и большие скорости (40 и 50 мм/с) привели к возникновению наплывов, нечетким контурам и большому количеству нитей, т.н. «паутины» (рис. 3 *а, б*). Слишком низкая температура (230 и 225°C) сопровождается неравномерной подачей и незавершенностью печати перемычек (рис. 3, *а, б*).



а – скорость 50 мм/с, толщина слоя 0,3 мм; *б* – скорость 40 мм/с, толщина слоя 0,2 мм; *в* – скорость 30 мм/с, толщина слоя 0,2 мм
Рис. 3 - «Температурные башни», напечатанные при различных параметрах

Пробелы в укладке слоев говорят о недостаточно эффективной подаче расплава: головка перемещается слишком быстро, и хотэнд не успевает равномерно расплавить пластик. «Паутина» не оказывает влияние на прочность изделий, но может служить признаком слишком высокой температуры экструзии и/или недостаточного ретракта.

Снижение скорости и толщины слоя позволило получить элементы без наплывов, с более четкими контурами и при более низких

температурах (230°C) (рис. 3, б). При снижении скорости печати до 30 мм/с в пределах всего диапазона температур проблем с подачей и спайкой слоев не наблюдалось (рис. 3, в).

Снижение скорости до 10 мм/с и толщины слоя в 0,1 мм дало условно качественную печать с точными пропечатками навесных элементов и перемычек в диапазоне температур 245–235°C. При этом наблюдалось незначительное образование провисающих слоев, что связано с малой скоростью печати. Образование «паутины» при неизменном расстоянии ретракта минимальное, однако время, затраченное на печать, возросло в несколько раз.

После качественной оценки напечатанных слоев подобрали оптимальные параметры: температуру печати исследуемого пластика на принтере Anycubic 4Max Pro считаем 240°C, скорость – 30мм/с и толщину слоя – 0,2 мм.

Температурная калибровочная шкала демонстрирует возможности 3D-принтера при печати одним филаментом при различных температурах экструдера.

На тестовой модели наглядно видно качество свесов, перемычек, также по изделию можно судить о способности 3D-принтера печатать изогнутые поверхности определенным пластиком.

Тестовые модели для 3D-принтера экономят время и средства пользователя.

Список использованных источников

1. Популярныe производители пластика для 3D-печати в России [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://vektorus.ru/blog/rossijskie-proizvoditeli-plastika-dlya-3d-printerov.html> – Дата доступа: 18.10.2023.

2. Кондрашов С. В. Влияние технологических режимов FDM-печати и состава используемых материалов на физико-механические характеристики FDM-моделей (обзор) / С.В. Кондрашов, А.А. Пыхтин, С.А. Ларионов, А.Е. Сорокин // Труды ВИАМ. – 2019. – №10(82) – С. 34–49.

3. Prithish Shubham, Arnab Sikidar and Teg Chand. The Influence of Layer Thickness on Mechanical Properties of the 3D Printed ABS Polymer by Fused Deposition Modeling // Key Engineering Materials. – August, 2016. – Vol. 706. – P. 63– 67.